

# COMUNE DI FRANCOFONTE

Provincia di Siracusa

## PROGETTO PER I LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL CIMITERO COMUNALE

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

Indagine geologico- tecnica

ELABORATO

9

Francofonte IT

IL PROGETTISTA



IL PROMOTORE FINANZIARIO

FAUSTINA COSTRUZIONI s.r.l.  
Via Umberto, 2  
96015 FRANCOFONTE (SR)  
P. IVA 01630570899

COMUNE DI FRANCOFONTE  
PROVINCIA DI SIRACUSA

*PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI LOCULI ED  
AREE PER CAPPELLE  
NEL CIMITERO COMUNALE DI FRANCOFONTE*

*Relazione geologica*



*Committente : FAUSTINA COSTRUZIONI S.r.l.*

*Il Tecnico : dott. Geol. Gasparina Mortellaro*

*Giugno 2014*

## **INDICE**

<i>Premessa.....</i>	<i>2</i>
<i>Inquadramento topografico, geomorfologico ed idrologico.....</i>	<i>3</i>
<i>Indagini eseguite.....</i>	<i>5</i>
<i>Lineamenti litostratigrafici, tettonici ed idrogeologici.....</i>	<i>6</i>
<i>Classificazione sismica del sito.....</i>	<i>8</i>
<i>Azione sismica e determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici....</i>	<i>9</i>
<i>Caratterizzazione litostratigrafica del sito e parametri geomeccanici del terreno.....</i>	<i>12</i>
<i>Considerazioni conclusive.....</i>	<i>13</i>

## **ELENCO ALLEGATI**

*-Corografia*

*- Carta dei dissesti - Bacino 093 n° 640150*

*- Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico (093) n° 640150*

*- Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione (093)*

*n° 640150*

*-Sezione stratigrafica*

*-Carta litostratigrafica scala 1 : 10.000*

*-Rapporto tecnico sulle indagini sismiche (Prodotta dalla GEOTECNHIBLA*

*– tecnico dott. Geol. Ranieri Santarosa)*

## PREMESSA

Su incarico della Ditta Faustina Costruzioni s.r.l., è stato condotto uno studio geologico, sismico ed idrogeologico inerente il progetto per la realizzazione di loculi ed aree per cappelle nel Cimitero Comunale di Francofonte.

Scopo del presente lavoro è stato quello di definire un modello geologico sulla base delle caratteristiche geomorfologiche, litostratigrafiche, strutturali, idrogeologiche, e sulla determinazione della pericolosità geologica del sito, onde verificarne la compatibilità con le previsioni progettuali.

Pertanto, attraverso dettagliate ricognizioni di superficie in un contesto areale significativo, sono state innanzitutto accertate le caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche e geologiche locali. E' stata inoltre eseguita una prospezione geofisica per la determinazione della categoria del suolo.

La presente relazione viene redatta in ottemperanza al **D.M. dell'11 Marzo 1988** seguendo tutte le prescrizioni contenute in esso e nelle successive modificazioni ed integrazioni, alla **Circolare n° 617 del 02/02/2009** – Istruzioni per l'applicazione delle **“Norme Tecniche per le costruzioni”** di cui al **D.M. 14 gennaio 2008** e al **Piano Assetto Idrogeologico Regione Sicilia** – Bacino idrografico dell'area del San Leonardo (093) (D.P. 02/07/2007 Regione Sicilia).



## INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROLOGICO

Il sito in esame ricade in agro di Francofonte ad una quota assoluta di circa 215m s.l.m.m.

Morfologicamente l'area mostra andamento suborizzontale con diversi ordini di terrazzamenti che ne conferiscono un aspetto degradante in direzione Est; quindi, per definire le condizioni topografiche del sito al fine della definizione dell'azione sismica, si può fare riferimento alla classificazione proposta nella tabella 3.2.IV di cui al punto 3.2.2 (*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*), Capitolo 3 (*Azioni sulle costruzioni*) del D.M. 14/01/2008.

In base alla classificazione suddetta il sito è appartenente alla **categoria topografica T1**, in quanto presenta un'acclività inferiore al 10%.

Per quanto riguarda la stabilità dell'area non sussistono problemi di dissesti o possibili franamenti in quanto la successione stratigrafica risulta pressoché orizzontale o con pendenze che non superano i 5°-7°; proprio in virtù della geometria e della giacitura degli affioramenti, risulta preservata la stabilità del sito.

Dal punto di vista idrologico sono presenti all'intorno del sito, piccole incisioni fluviali per il ruscellamento superficiale, diffuso solo in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi e prolungati nel tempo ed inoltre le litologie in esame consentono un buon drenaggio delle acque circolanti con schemi di circolazione variabili a seguito delle variazioni laterali delle litofacies e comunque non vanno ad interessare il sedime.

Pertanto per il favorevole concorrere delle caratteristiche geolitologiche del terreno nonché della configurazione geomorfologica globale, l'area presenta un assetto geostatico soddisfacente, sia nel breve come nel lungo periodo, presentandosi idonea per le finalità in progetto. Tutto ciò si evidenzia anche dagli allegati stralci del **Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)**, redatto dalla Regione Sicilia, il quale rappresenta uno strumento di tutela territoriale finalizzato alla valutazione del rischio di frana e di esondazione; nella fattispecie gli stralci allegati sono quello relativo alla *carta dei dissesti*, quello della *carta della pericolosità geomorfologica e del rischio geomorfologico*, e quello della *carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione* da cui si evince che l'area non ricade in nessuno dei siti sensibili individuati dal P.A.I.

## INDAGINI ESEGUITE

Al fine della caratterizzazione litostratigrafica e sismica dei terreni di fondazione ed in ottemperanza alle indicazioni contenute nel testo unitario “Norme tecniche per le costruzioni” (D.M. 14/01/2008) i dati geologici sono stati desunti da uno scavo immediatamente limitrofo al sedime per una profondità di circa 3,00m; inoltre sono state effettuate indagini geofisiche finalizzate alla determinazione del Vs30 per la definizione della categoria del suolo di fondazione.

La metodologia adoperata è quella della sismica a rifrazione con determinazione sperimentale del valore Vs30 ricavato per inversione e modellazione della velocità di fase delle onde di superficie (Metodo MASW); i dati sono stati registrati mediante un sismografo a memoria incrementale per sismica a rifrazione.

Lo stendimento geofonico per la prova MASW ha avuto lunghezza di 40m ed è stato realizzato con 24 ricevitori con una distanza intergeofonica di 1,5m; esso è stato realizzato in corrispondenza del sito previsto in progetto.

Per quanto riguarda i dettagli della strumentazione utilizzata e della teoria su cui si basano le metodologie si rimanda alla relazione allegata, prodotta dal responsabile tecnico della GEOTECNHIBLA, dott. Geol. Santarosa Ranieri.

*Il parametro Vs30 ricercato attraverso l'indagine suddetta è risultato essere pari 531,10 m/sec, pertanto i terreni ricadono in categoria B.*



## LINEAMENTI LITOSTRATIGRAFICI, TETTONICI ED IDROGEOLOGICI

Il sedime su cui andranno ad insistere le cappelle funerarie e i loculi è rappresentato da livelli di sabbie calcarenitiche fossilifere di età calabriana; tali affioramenti appartengono al complesso calcarenitico-sabbioso-argilloso del Pleistocene inf. E' da evidenziare che proprio nell'area interessata, le sabbie risultano essere in rapporto eteropico con le calcareniti per cui si possono riscontrare possibili variazioni latero-verticali delle facies passando da livelli sabbiosi a strati più competenti calcarenitici.

Eseguendo tutto all'intorno del sito in esame un rilievo, attraverso affioramenti nonché da dati rivenienti da sbancamenti contigui, è emersa una successione stratigrafica costituita da detriti di copertura di natura sabbiosa derivanti da riporto (0,6-0,8 m); al di sotto e per tutto lo spessore di interesse fondazionale affiorano le sabbie gialle fossilifere calabriane intercalate da livelli calcarenitici identificati da una coerenza e competenza maggiori, anche se litologicamente costituiti dalla stessa natura calcarenitico-sabbiosa e localizzati alla quota di imposta delle fondazioni.

I caratteri strutturali dell'area di indagine sono ricollegabili al più vasto quadro tettonico dell'Avampaese Ibleo, il quale costituisce uno dei principali elementi strutturali della Sicilia orientale.

L'Altipiano Ibleo, in un contesto geodinamico più ampio, rappresenta il margine indeformato della placca africana, rimasto relativamente indisturbato durante le principali fasi tettonogenetiche verificatesi nell'isola.



Esso è tuttavia interessato da dislocazioni consistenti in fitti sistemi di faglie prevalentemente normali che definiscono un quadro tettonico delineatesi per il settore occidentale già nel Miocene superiore ed in epoca posteriore fino all'Olocene per quello orientale.

Per quanto attiene la sismicità dell'area, gli studi condotti hanno evidenziato che essa è caratterizzata da *gaps* sismici di notevole durata, interrotti da elevati rilasci di energia.

I terremoti in questa zona si distribuiscono lungo la direzione NW-SE rappresentando quindi una concreta minaccia per il territorio in esame; in particolare dalla sovrapposizione della mappa degli epicentri con le carte strutturali dell'Avampese Ibleo si deduce una chiara coincidenza tra lineazioni strutturali e distribuzione degli epicentri.

Dal punto di vista idrogeologico, i termini che costituiscono la sequenza litostratigrafia sono caratterizzati da una permeabilità variabile di tipo secondario per fessurazione, ma anche primario, sono modestamente trasmissive; in media si può indicare una *permeabilità compresa tra  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  cm/sec.*

Nell'area di intervento il livello della piezometrica si attesta intorno ai 120m con direzione di flusso NE.

## CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la classificazione sismica del territorio non è indicativa per la determinazione dell'azione sismica di progetto, tuttavia rimane un punto di riferimento per la definizione della pericolosità sismica dal punto di vista amministrativo.

L'Ordinanza n° 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 ha proposto nuove disposizioni secondo le quali il territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone sismiche, ciascuna delle quali caratterizzata da un valore di accelerazione orizzontale ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

Il Comune di Francofonte secondo tale zonazione ricade nella zona sismica 2 cui corrisponde un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a  $0,25 * g$ ; tale valore rappresenta il picco di accelerazione di un terremoto di riferimento in un suolo stabile.

Nell'aprile 2004 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha presentato una nuova mappa di pericolosità sismica (MPS04) elaborata secondo i criteri proposti dalla OPCM 3274. *L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28/04/2006* ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale.

Secondo tale mappa il territorio di Francofonte ricade nella **zona 2**, dove possono verificarsi **terremoti abbastanza forti con livello di pericolosità medio**.

## AZIONE SISMICA E DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI E DEI COEFFICIENTI SISMICI

Il D.M. 14/01/2008 prevede che la sicurezza e le prestazioni di un'opera devono essere valutate tramite un approccio che si basa sul concetto di stati limite. Gli *stati limite* sono quelle condizioni che si possono verificare durante la sua vita nominale superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per cui è stata progettata.

I requisiti che le opere devono garantire sono:

- Sicurezza di stati limite ultimi (SLU);
- Sicurezza di stati limite di esercizio (SLE).

Le cause che possono determinare stati limite in una struttura vengono definite *azioni*; una delle azioni fondamentali da considerare durante la progettazione di un'opera è *l'azione sismica*, cioè la sollecitazione che un edificio subisce in seguito a un terremoto in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$ .

La *pericolosità sismica* di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Nel D.M. 14/01/2008 tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "*periodo di riferimento  $V_R$* " e la probabilità è denominata "*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$* ".

Lo studio di pericolosità sismica deve fornire i parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale; pertanto al fine di definire



completamente gli spettri di progetto dell'azione sismica è necessario acquisire le coordinate geografiche del sito che sono: **Lat. 37,221410 e Long. 14,891376** secondo il sistema ED50. Tali coordinate consentono di individuare tutti parametri sismici (**ag, Fo, Tc\***) relativi all'azione sismica nonché i coefficienti sismici orizzontali e verticali (**Kh e Kv**) e l'accelerazione massima (**amax**) attesa nel sito, così come si evince dal calcolo qui di seguito ricavato dal software Geostru.

#### Sito in esame.

Latitudine: 37,221410 (°)

Longitudine 14,891376 (°)

Classe d'uso: II- Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 (anni)

#### Siti di riferimento.

	ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza (m)
Sito 1	49195	37,226190	14,867000	2222,8
Sito 2	49196	37,225360	14,929530	3406,7
Sito 3	49418	37,175380	14,928500	6083,5
Sito 4	49417	37,176190	14,865980	5508,4



## Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente  $c_u$ : 1

	Prob. Superamento (%)	Tr (anni)	Ag (g)	Fo (-)	Tc° (s)
Operatività (SLO)	81	30	0,049	2,457	0,253
Danno (SLD)	63	50	0,068	2,511	0,268
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,273	2,279	0,425
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,395	2,328	0,479

## Coefficienti Sismici

	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s <sup>2</sup> )	Beta (-)
SLO	1,200	1,450	1,000	0,012	0,006	0,576	0,200
SLD	1,200	1,430	1,000	0,016	0,008	0,798	0,200
SLV	1,150	1,310	1,000	0,088	0,044	3,082	0,280
SLC	1,030	1,270	1,000	0,114	0,057	3,991	0,280

## **CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SITO E PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEL TERRENO**

Sulla scorta delle indagini geofisiche svolte (MASW), e delle informazioni acquisite, si riportano di seguito i principali parametri geotecnici attribuiti alle sabbie calcarenitiche calabrianche che rappresentano il litotipo affiorante alla quota del piano fondazionale.

Il sedime è ricadente in **“categoria B”** secondo la tabella 3.2.II delle Norme Tecniche di Costruzione del 14/01/2008 con

- **angolo di attrito interno  $\Phi = 30^\circ$**
- **peso di volume  $\gamma = 1,90 \text{ g/cm}^3$**
- **coesione  $c = 0,00 \text{ Kg/cm}^2$**
- **coefficiente di sottofondo  $k = 12 \text{ Kg/cm}^3$**

Per quanto riguarda la coltre di materiale superficiale di riporto non presenta allo stato attuale un grado di addensamento tale da sopportare le tensioni indotte da un manufatto, pertanto diventa necessaria la completa asportazione di questo materiale fino al rinvenimento degli orizzonti sabbiosi sottostanti.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle note fin qui esposte si evince che le proprietà del terreno non variano significativamente sia in senso verticale sia orizzontale, rendendo abbastanza omogeneo il comportamento complessivo e perciò semplici l'accertamento delle caratteristiche del sedime e del carico ammissibile.

Sulla base dei rilievi effettuati, dall'indagine sismica e dalla letteratura geologica, si evidenzia quanto segue:

- *Assenza di dissesti nel sito e nelle aree immediatamente confinanti;*
- *I terreni affioranti sono costituiti dalle sabbie giallastre calcarenitiche calabrianne;*
- *Nel sedime la falda si attesta intorno ai 120 m dal piano campagna;*
- *L'area di intervento non ricade in nessuno dei siti sensibili del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia;*
- *In base al valore del  $V_{s30}$  ottenuto attraverso la prospezione geofisica ( $V_{s30}=531,10$  m/sec) e alle caratteristiche stratigrafiche del deposito, conforme con la descrizione della tabella 3.3.II delle NTC 2008 (Tabella 3) possiamo classificare il substrato di fondazione del fabbricato, come appartenente alla Categoria B;*
- *In base alle caratteristiche topografiche del sito possiamo classificarlo come appartenente alla Categoria T1;*
- *L'area non è soggetta a fenomeni gravitativi innescabili a seguito di evento sismico;*
- *Non vi è evidenza di faglie che possono determinare fratturazione superficiale;*
- *I terreni interessati non sono soggetti a liquefazione;*

Si può affermare che allo stato attuale le condizioni stratigrafico-strutturali ed idrogeologiche del sito sono in assonanza e concomitante con quanto risulta essere in progetto.

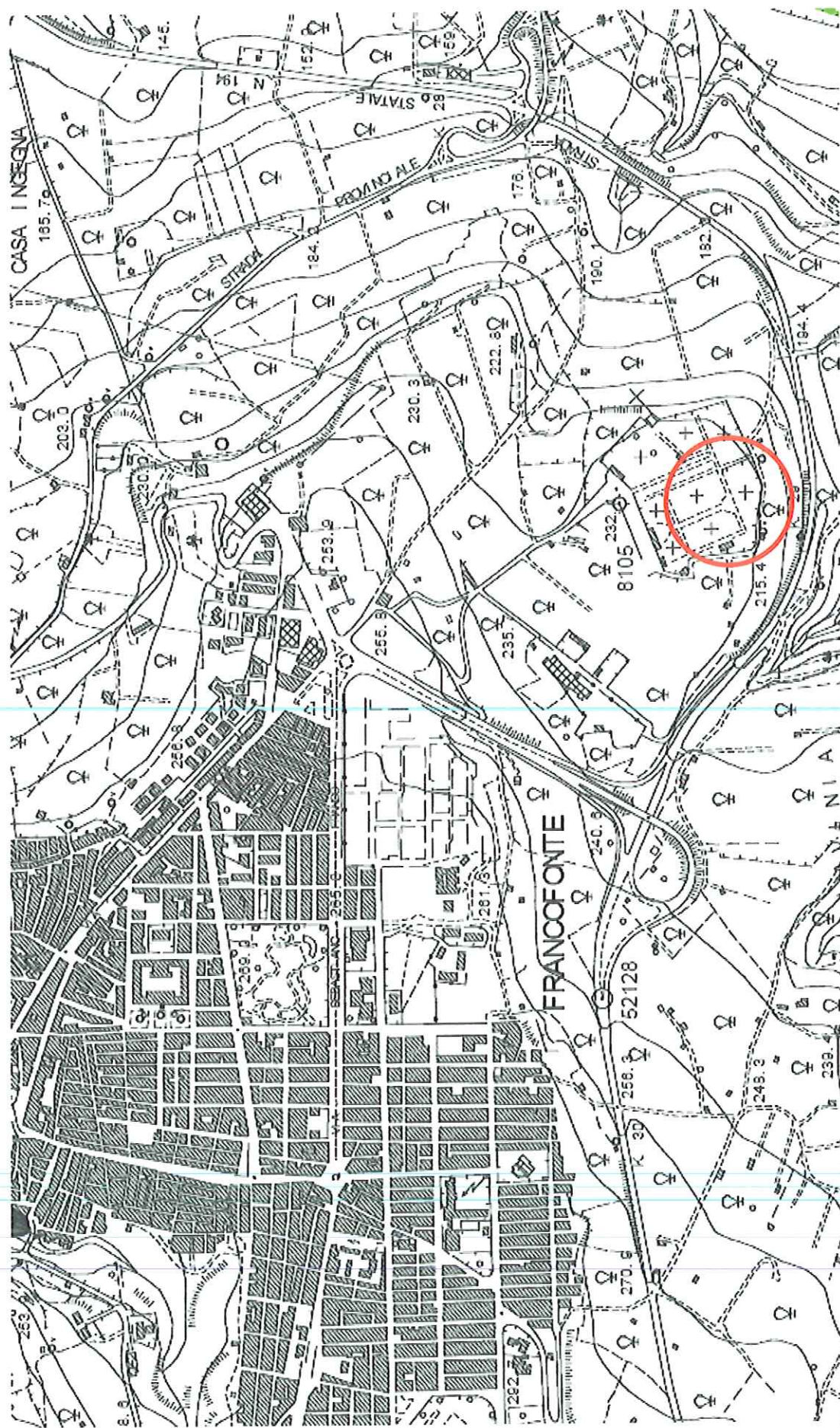
*Pertanto adottando il valore dei parametri sismici, dei coefficienti sismici e dell'accelerazione massima attesa nel sito sopra citati, è preservata la stabilità a favore della sicurezza e tali valori si mostrano perfettamente idonei alle condizioni geomeccaniche del terreno di fondazione e alle sollecitazioni indotte dalla situazione sismogenetica dell'area in esame.*

*Il Geologo*  
**dott. Gasparini Mortellaro**





# COROGRAFIA



Area di sedime (L'area di intervento dista oltre i 10m dai torrenti o dalle zone di ruscellamento presenti nelle aree adiacenti)



REPUBBLICA ITALIANA



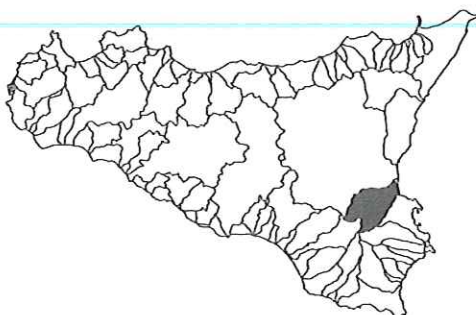
**Regione Siciliana**  
**Assessorato Territorio e Ambiente**

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE  
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

**Piano Stralcio di Bacino**  
**per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**

(ART.1 D.L. 180/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L.267/98 E SS.MM.II.)

**Bacino Idrografico del Fiume**  
**San Leonardo (CT-SR)**

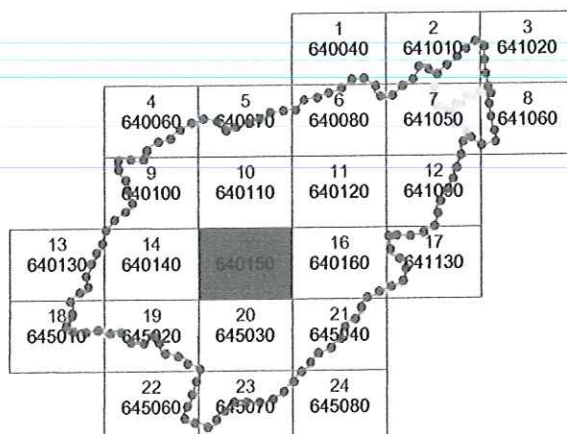


**CARTA DEI DISSESTI N° 15**

COMUNI DI  
Buccheri - Francofonte - Vizzini

**Scala 1:10.000**

Giugno 2004

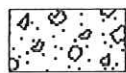


# LEGENDA

## FENOMENI FRANOSI



Crollo e/o ribaltamento



Colamento rapido



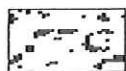
Sprofondamento



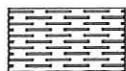
Scorrimento



Frana complessa



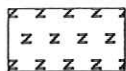
Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)



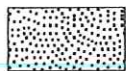
Colamento lento



Area a franosità diffusa



Deformazione superficiale lenta



Calanco



Dissesti conseguenti ad erosione accelerata



Aree potenzialmente soggette a fenomeni di sprofondamento

## STATO DI ATTIVITA'



Attivo



Inattivo



Quiescente



Stabilizzato artificialmente o naturalmente



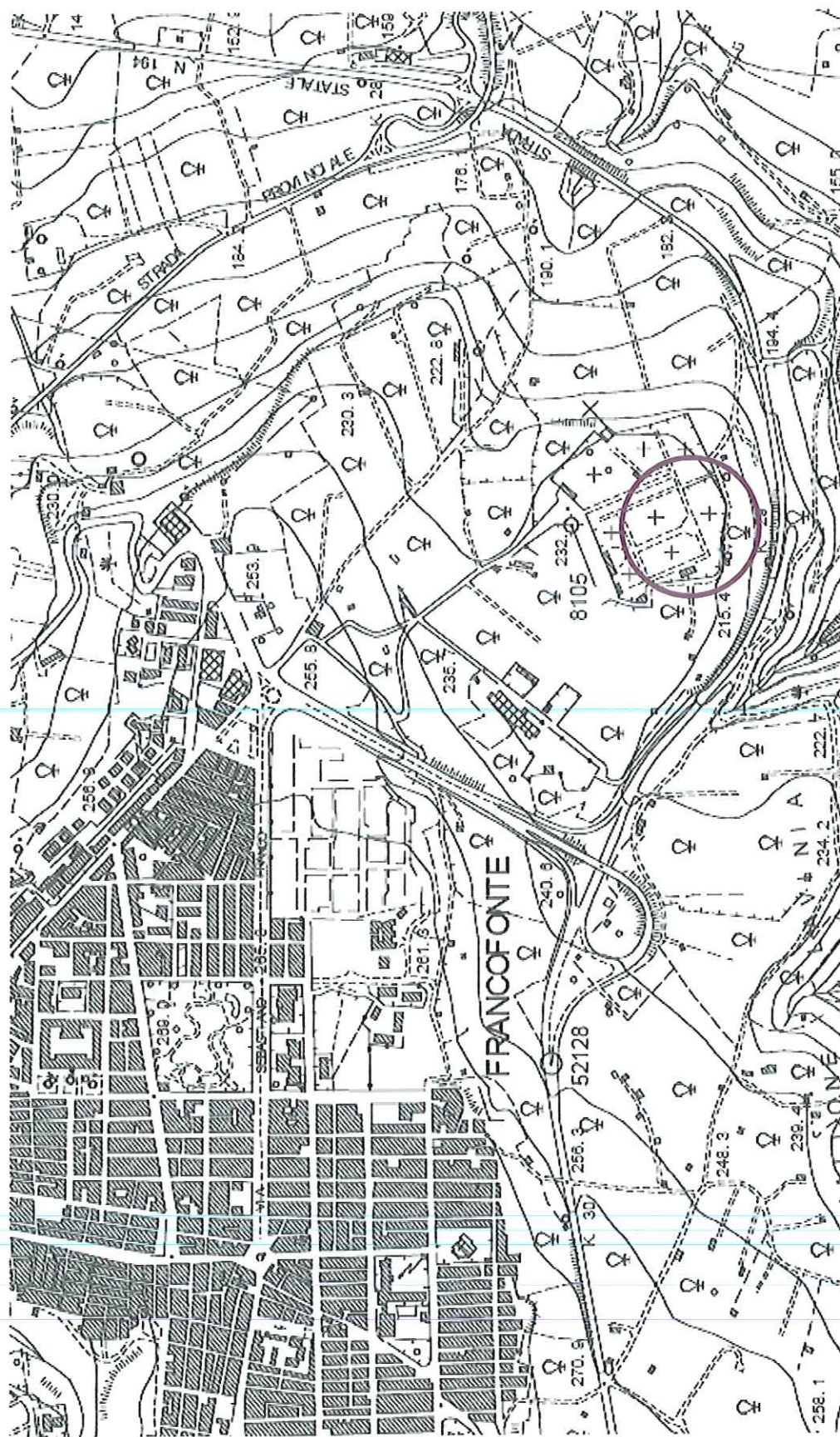
Limite bacino idraulico

Limite bacino idrografico



Limite comunale







REPUBBLICA ITALIANA



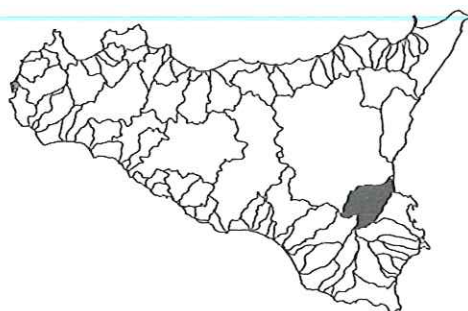
**Regione Siciliana**  
**Assessorato Territorio e Ambiente**

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE  
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

# **Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**

(ART.1 D.L. 180/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L.267/98 E SS.MM.II.)

## **Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (CT-SR)**

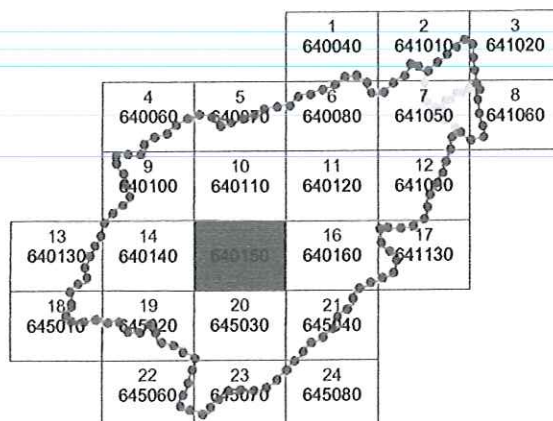


### **CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 15**

COMUNI DI  
Buccheri - Francofonte - Vizzini

**Scala 1:10.000**

Giugno 2004



# LEGENDA

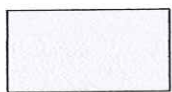
## LIVELLI DI PERICOLOSITA'



P0 molto basso



P1 moderato



P2 medio



P3 elevato



P4 molto elevato

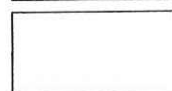


Siti di attenzione

## LIVELLI DI RISCHIO



R1 moderato



R2 medio



R3 elevato



R4 molto elevato



Limite bacino idraulico

Limite bacino idrografico

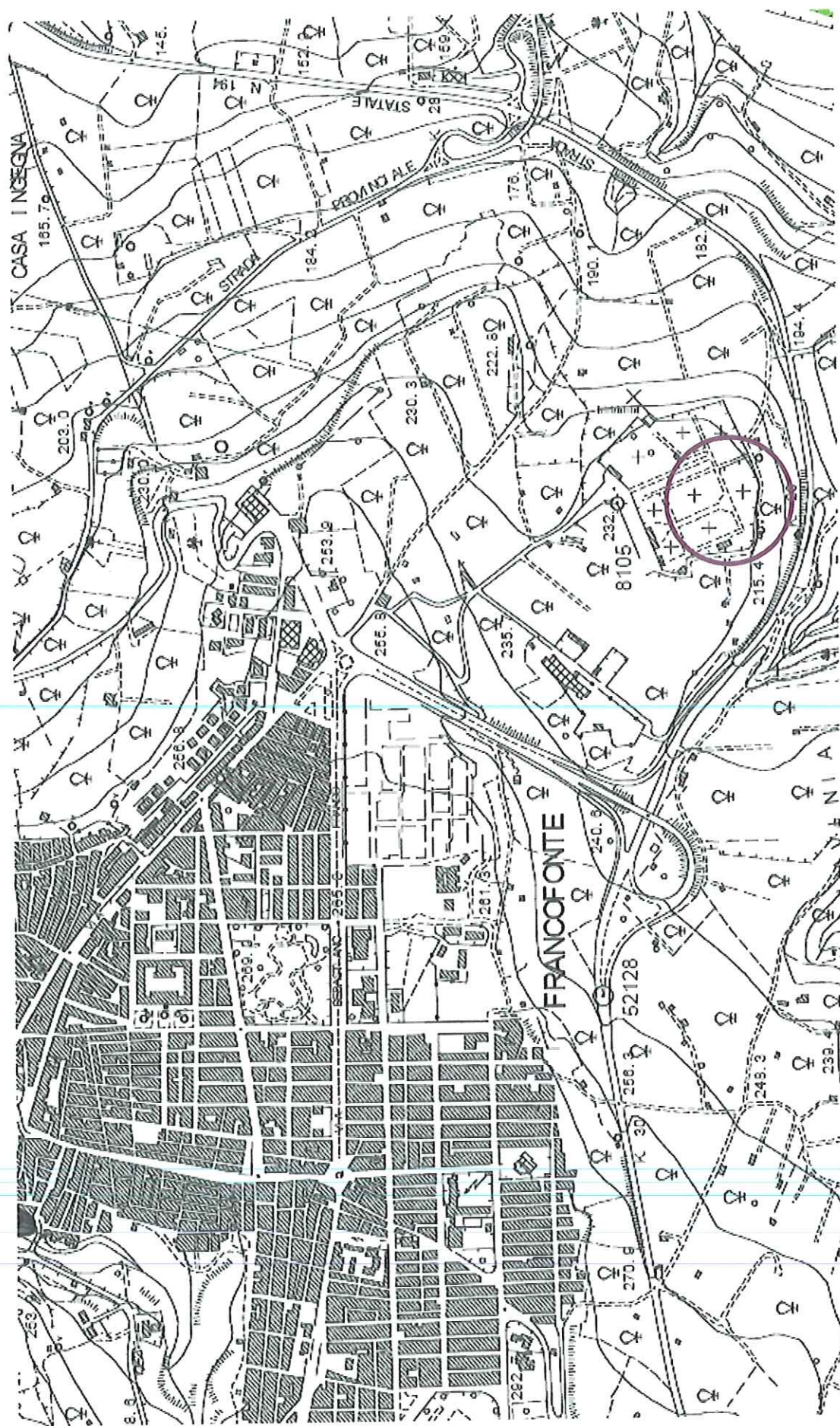


Limite comunale



# STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO

P.A.I. BACINO 093 N° 640150





REPUBBLICA ITALIANA



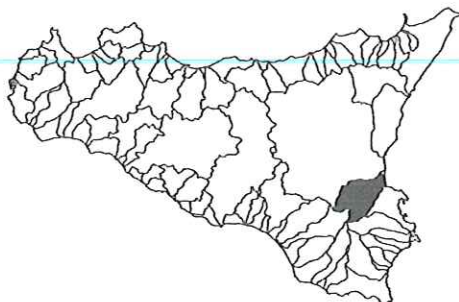
**Regione Siciliana**  
**Assessorato Territorio e Ambiente**

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE  
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

# **Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**

(ART.1 D.L. 180/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L.267/98 E SS.MM.II.)

## **Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (CT-SR)**

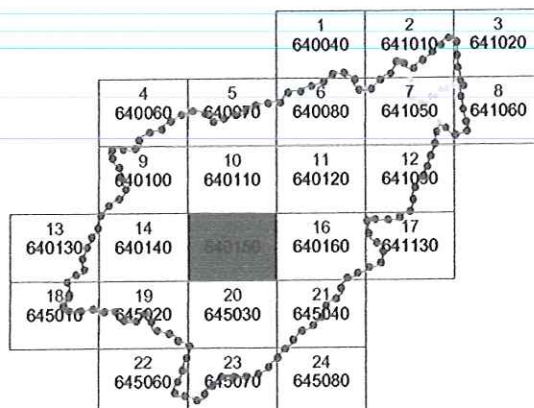


### **CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 15**

COMUNI DI  
Buccheri - Francofonte - Vizzini

**Scala 1:10.000**

Giugno 2004





# LEGENDA

## VALORI DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA



P1 Pericolosità moderata



P2 Pericolosità media



P3 Pericolosità elevata



Siti di attenzione



Limite bacino idraulico



Limite bacino idrografico



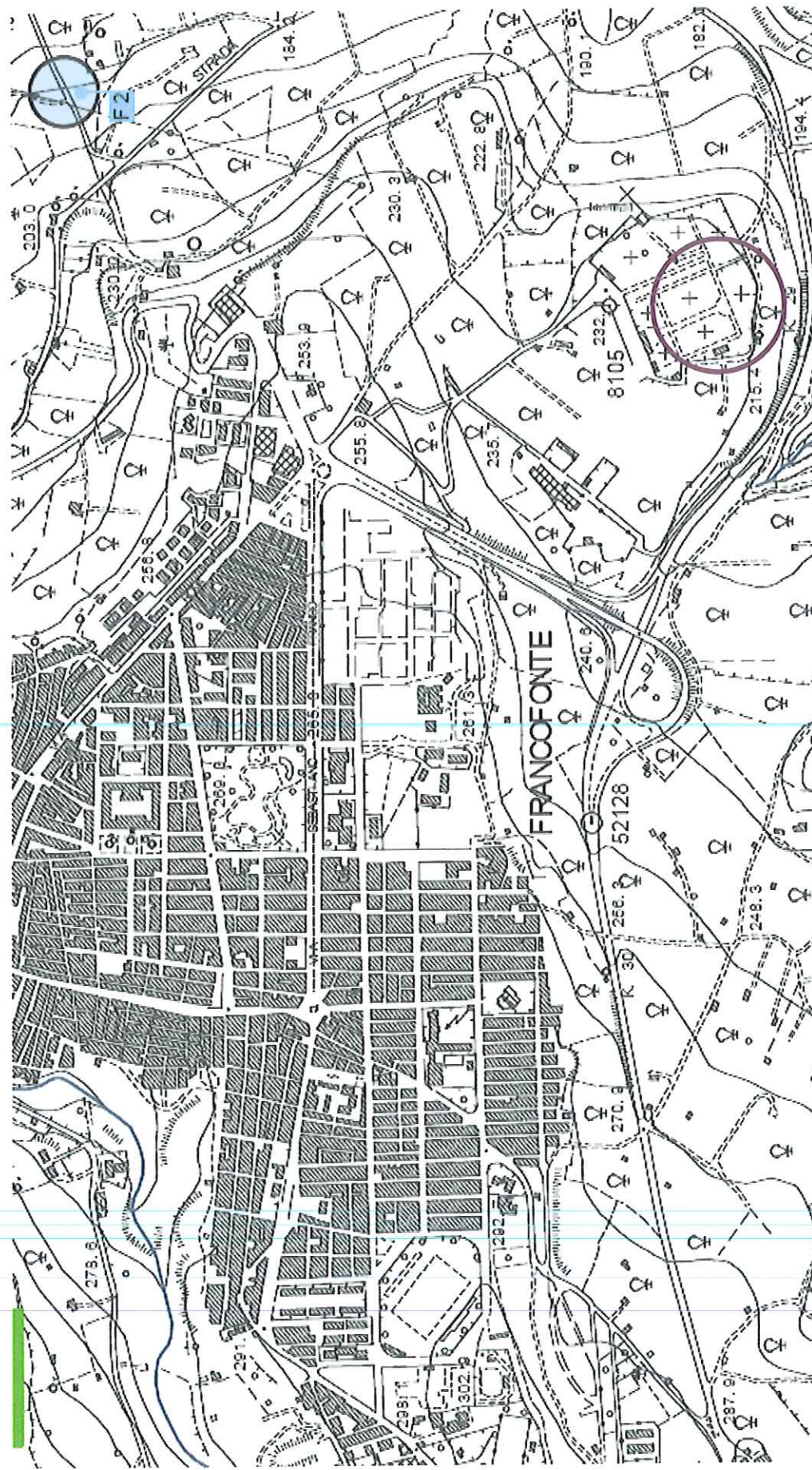
Limite comunale



Rete idrografica

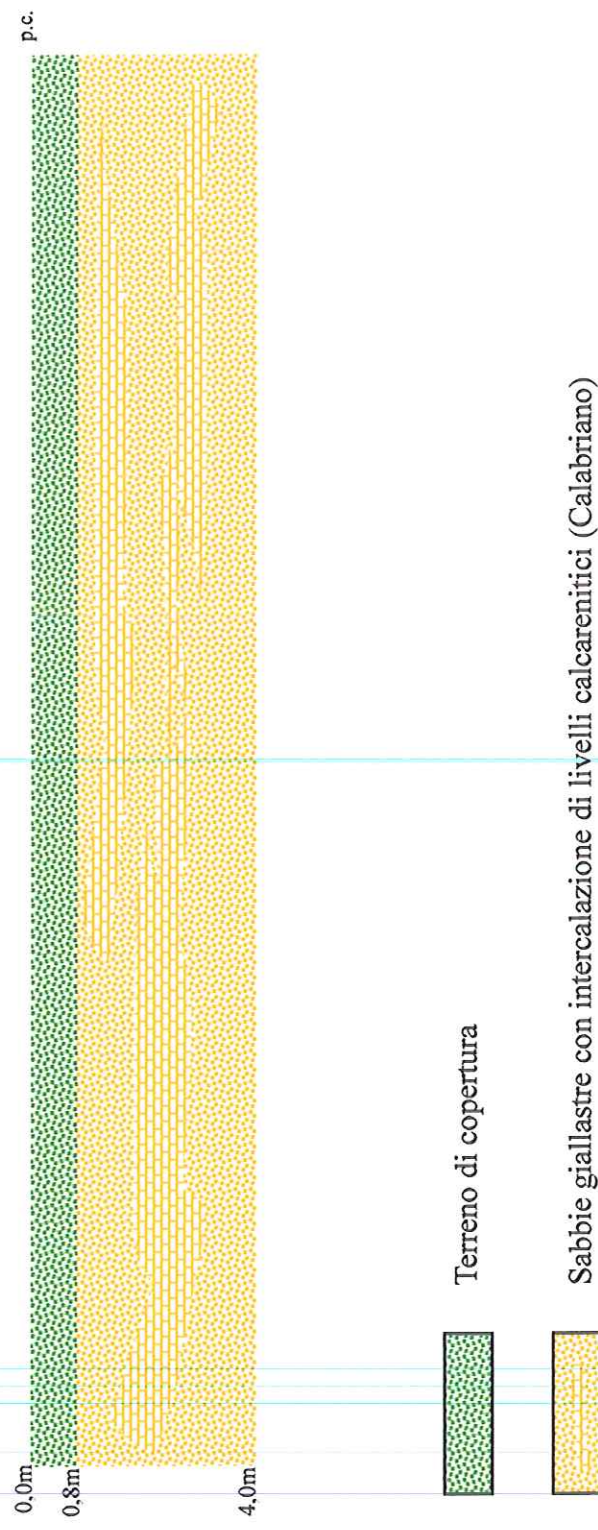
# STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA PER FENOMENI DI ESONDAZIONE

P.A.I. BACINO 093 N° 640150



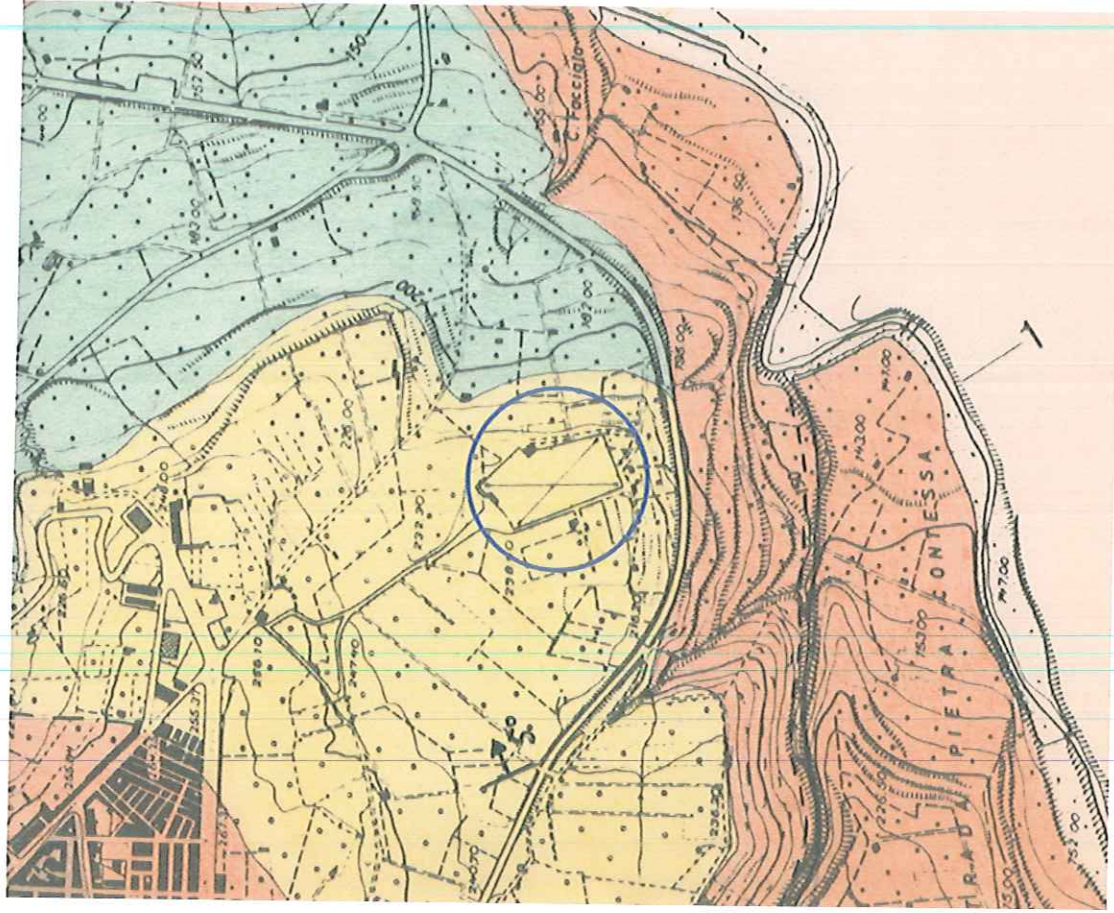


# SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SEDIME





## INQUADRAMENTO GEOLITOGICO



Argille grigio-azzurre (Calabrian)

Sabbie calcarenitiche giallastre (Calabrian)

Calcareni bianco-giallastre (Calabrian)

## Geotecnhibla s.r.l

Laboratorio autorizzato per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001" con Decreto n° 4538 del 13-04-2012 - Sede Operativa Via U.Foscolo, 161/A Int. 40 – 96012 Avola (SR)

Tel/fax 0931-833124

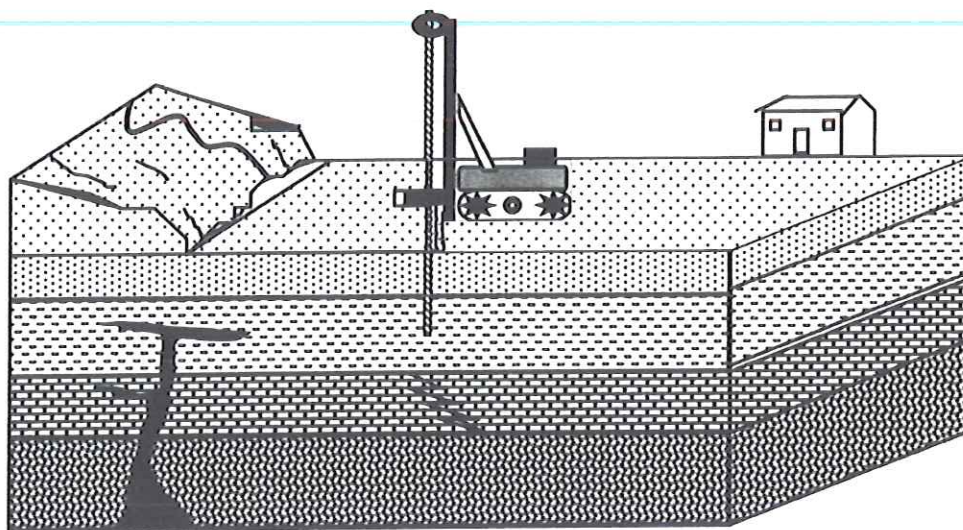
email:geotecnhiblasrl@libero.it



**PROGETTO:** INDAGINE GEOFISICA TIPO MASW ESEGUITA PER LA REALIZZAZIONE DI LOCULI ED AREE PER CAPPELLE NEL CIMITERO COMUNALE DI FRANCOFONTE (SR)

**COMMITTENTI:** Ditta Faustina Costruzioni srl

### RELAZIONE TECNICA



**IL RESPONSABILE DI SITO**

**DR GEOL RANIERI SANTAROSA**

**GEOTECNHIBLA s.r.l.**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE - INTERFERENZE - STRUTTURE  
Sede Operativa: Via U. Foscolo, 161/A - 96012 Avola (SR)  
Cod. Fisc. e P.IVA: 0935120893  
Tel/Fax: 0931-833124  
E-mail: geotecnhiblasrl@libero.it

**COMUNE DI FRANCOFONTE**  
**Provincia di Siracusa**

**INDAGINE GEOFISICA TIPO MASW  
ESEGUITA PER LA REALIZZAZIONE DI LOCULI ED AREE PER CAPPELLE  
NEL CIMITERO COMUNALE DI FRANCOFONTE (SR)**

**COMMITTENTE: Ditta Faustina Costruzioni s.r.l.**

**RELAZIONE-TECNICA-SULLE-INDAGINI**



## **INDAGINE GEOFISICA TIPO MASW ESEGUITA PER LA REALIZZAZIONE DI LOCULI ED AREE PER CAPPELLE NEL CIMITERO COMUNALE DI FRANCOFONTE (SR)**

### **PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH TECNICA MASW**

E' stata eseguita, nell'area in studio, un' indagine sismica con metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh) al fine di individuare spessori e geometrie dei litotipi, le caratteristiche sismostratigrafiche degli stessi e per classificare sismicamente il suolo dell'area in studio.

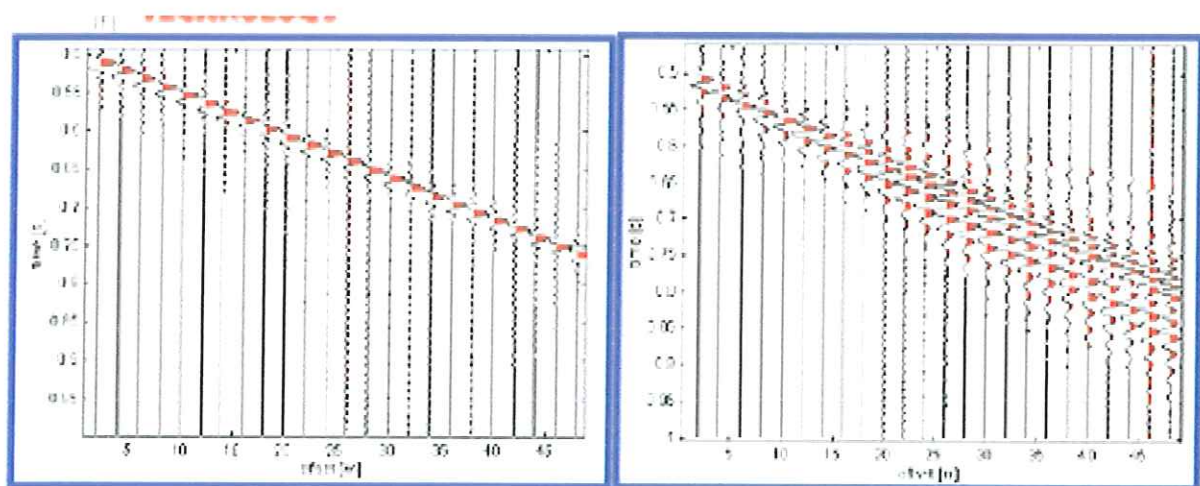
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. A) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



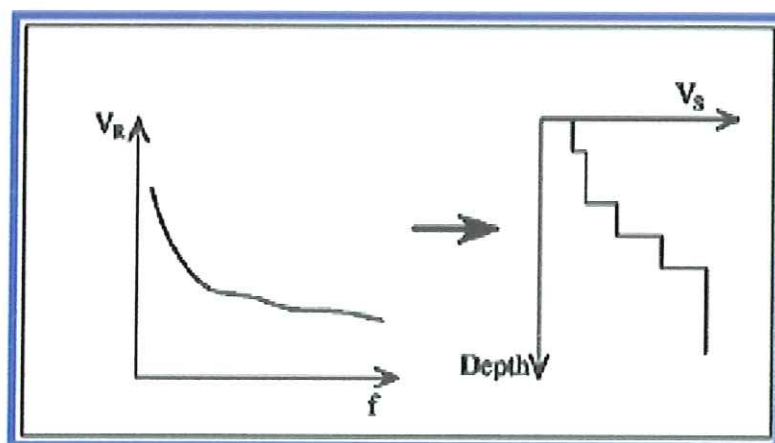
**Fig. A - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dall'O.P.C.M. Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. B).



**Fig. B – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.**

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione (Fig. C).



**Fig. C – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione**



La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_s$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative più onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione della  $V_s$  <20%.

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti tecniche: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves). La tecnica ReMi consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle  $V_s$  relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento messo in opera. Questa tecnica viene estensivamente utilizzata negli Stati Uniti nell'ambito del NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) tanto che il software fornisce anche direttamente il valore di  $V_s$  30 e la categoria della classificazione del suolo secondo la normativa americana.

Il metodo FTAN per la determinazione delle  $V_s$ 30 ha bisogno di un solo ricevitore e permette la definizione di un profilo medio su distanze di decine-centinaia di metri. Inoltre il metodo fornisce valori di velocità delle onde di taglio in buon accordo con le misure in foro. Il metodo SASW viene generalmente impiegato per la determinazione delle  $V_s$  di strati superficiali (<30m) e per la determinazione delle proprietà elastiche di strade e pavimentazioni (Stokoe & Nazarian, 1985) e, pertanto, sembra essere tra i metodi non invasivi quello più popolare tra gli ingegneri. La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo.

## PROSPEZIONI SISMICHE MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh – MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) – è un efficiente metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno. L'intera procedura per una MASW consiste di 4 passi fondamentali:

A) Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 2), generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente geofoni (Fig. 1) che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;

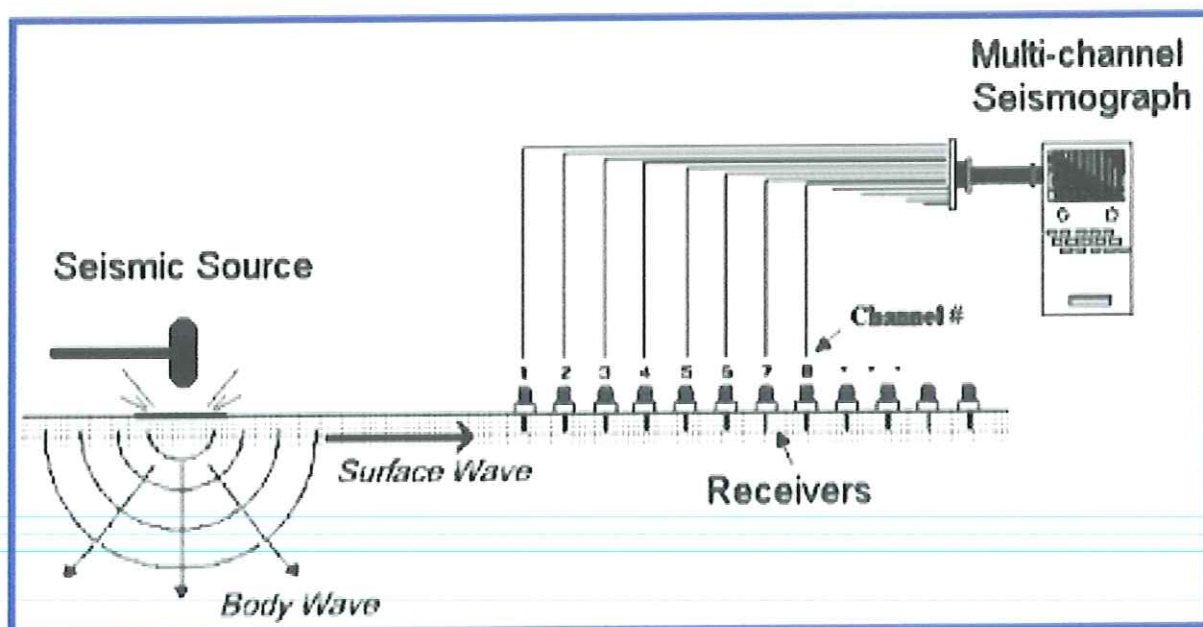
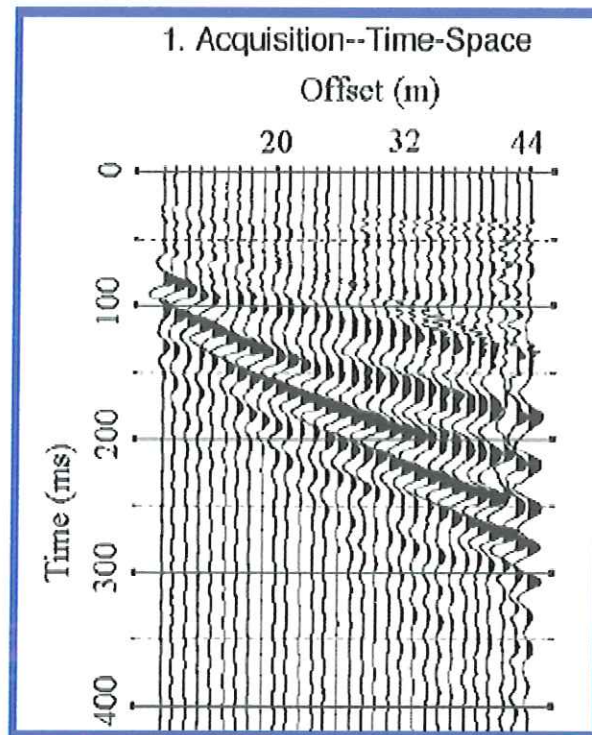


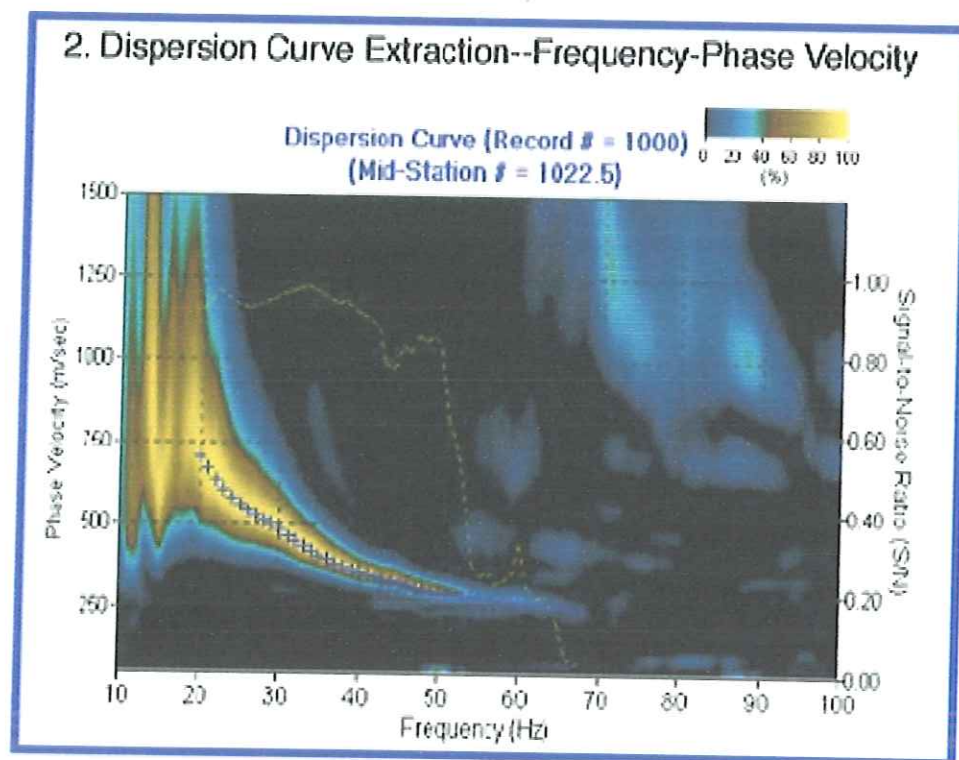
Fig. 1 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.



**Fig. 2 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.**

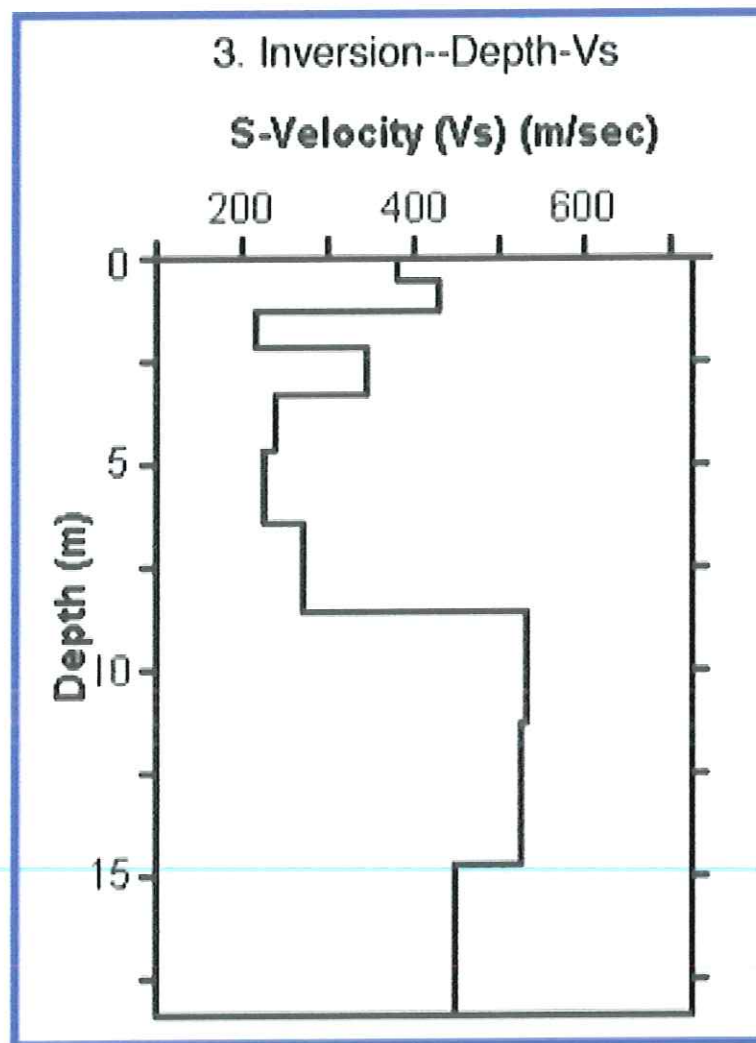
B) Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 3);





**Fig. 3 – Curva di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.**

C) Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (Fig. 4) (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);



**Fig. 4 – Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a  $1.1V_R$  ( $V_R$ =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa  $0.4\lambda$  ( $\lambda$ =lunghezza d'onda).**

D) Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle  $V_s$  dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero due spostamenti lungo la linea dello stendimento).

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  e  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad

esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore. Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana. Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

Ai fini della caratterizzazione del tipo di suolo dell'area investigata è stata eseguita una prospezione sismica MASW con stendimenti geofonici all'interno dell'area in esame.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000S/E 24 bit 24 canali. L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. La sorgente sismica è costituita da una massa battente (mazza dal peso di circa 10 kg) che batte su una piastra di alluminio. Il colpo del martello funge contemporaneamente da starter poichè collegato a mezzo di trigger al sismografo. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 1.5 m (totale lunghezza stendimenti= 40.0 m. La lunghezza dello stendimento è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni fino alla profondità di circa 35,0 m nell'area di progetto. I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



## ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=1.4s$ , sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=0.5ms$ . La frequenza di campionamento è data da:  $f_{campionamento}=1/dt=2000Hz$ . La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da:  $f_{Nyquist}=1/2dt=1000Hz$ . La frequenza minima dei segnali è data da:  $f_{min}=1/T=0.714Hz$ . L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di 2 sezioni sismostratigrafiche (modelli 2D) delle Vs.

Dalla disamina della prospezione geofisica eseguita si è definito inoltre il valore di Vs30 cioè la velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio calcolata con la seguente espressione:

$$Vs_{30} = \frac{\sum_{i=1}^N h_i V_i}{N}$$

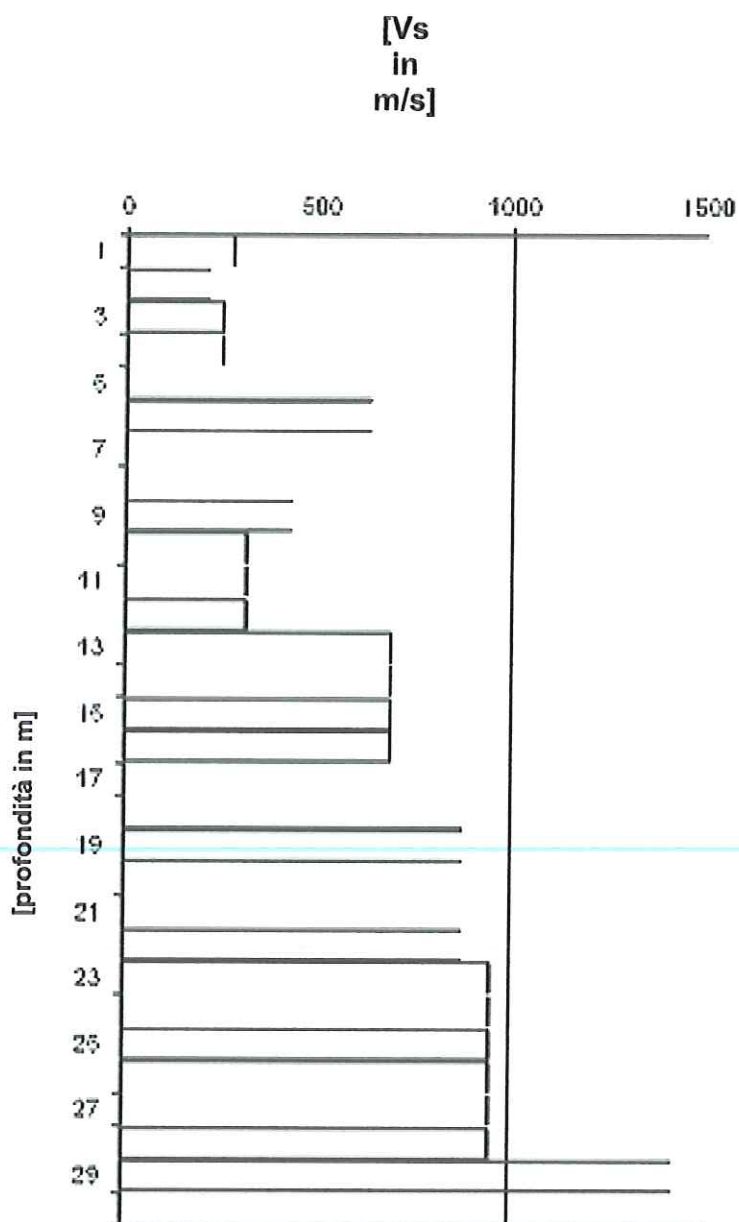
Dove

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo

$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima

$N$  = Numero di strati

Vs m/s	m dal p.c.	Sismostrati
276	1	1
214	2	2
248	3	3
248	4	3
635	5	4
635	6	4
429	7	5
429	8	5
429	9	5
314	10	6
314	11	6
314	12	6
687	13	7
687	14	7
687	15	7
687	16	7
874	17	8
874	18	8
874	19	8
874	20	8
874	21	8
874	22	8
947	23	9
947	24	9
947	25	9
947	26	9
947	27	9
947	28	9
1422	29	10
1422	30	10



**Vs30 = 531.10 m/s**

Gli elaborati relativi vengono allegati a tergo della presente.

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO

Classificazione del tipo di suolo secondo la normativa sismica O.P.C.M. n. 3274/2003 e D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

Committente	Ditta Faustina Costruzioni s.r.l.
Oggetto	Realizzazione di loculi ed aree per cappelle
Località	Cimitero Comunale di Francofonte (SR)
Strumentazione utilizzata	Sismografo MAE A2000SE
Metodo di indagine	M.A.S.W.
Metodo di energizzazione	Mazza da 8 kg
Geometria dello stendimento	Lineare con 24 geofoni (4,5Hz) – interasse 1,5 m

VELOCITA' MEDIA DELLE ONDE SISMICHE DI TAGLIO $V_{s30}$ (m/s)	<b>531.10</b>
Dati i risultati, il sito in esame risulta classificato alla categoria di suolo di tipo	<b>B</b>

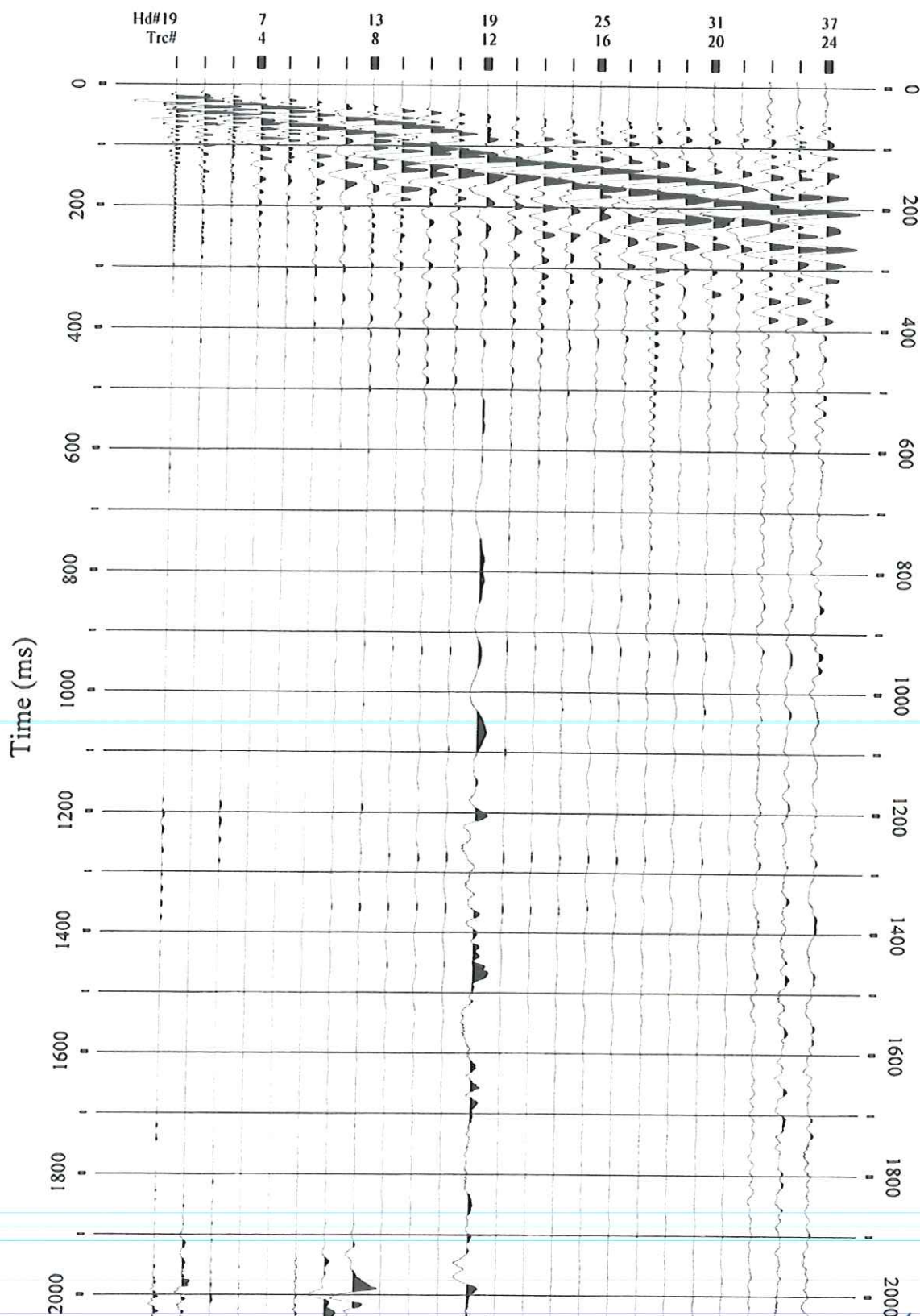
SUOLO	DESCRIZIONE LITOTECNICA	$V_{s30}$ (m/s)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	<b>&gt;800</b>
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s	<b>360+800</b> ( $N_{spt} > 50$ ) ( $C_{u30} > 250$ kPa)
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s	<b>180+360</b> ( $15 < N_{spt} < 50$ ) ( $70 < C_{u30} < 250$ kPa)
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s	<b>&lt; 180</b> ( $N_{spt} < 15$ ) ( $C_{u30} < 70$ kPa)
<b>E</b>	Terreni del sottosuolo di tipo C o D per spessore non superiore a 20 metri, posti sul substrato di riferimento con $V_{s30} > 800$ m/s	
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m. di torba o di argille altamente organiche	<b>&lt; 100</b> ( $10 < C_{u30} < 20$ kPa)
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Il tecnico

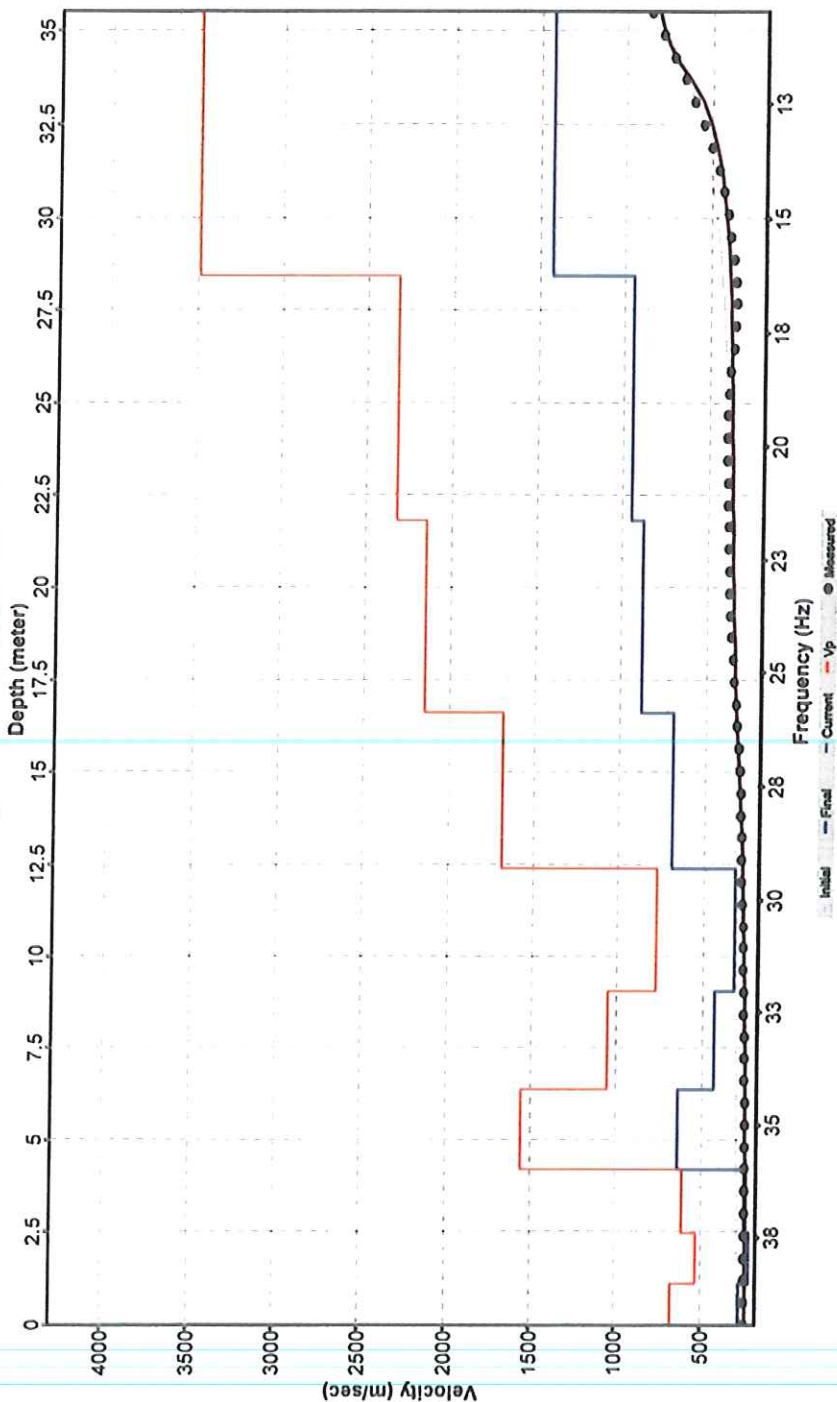
Dr Geol Ranieri Santarosa

**GEOTECNIBLAST s.r.l.**  
 INDAGINI GEOTECNICHE E LITOTECNICHE - STRUTTURE  
 Sede Operativa: Via C. Casale, 161/A - 06012 Asola (SR)  
 C.A.P. 06012 - C.F. 01351290893  
 Tel/Fax 0731/833124  
 E-mail: geotecniblast@libero.it



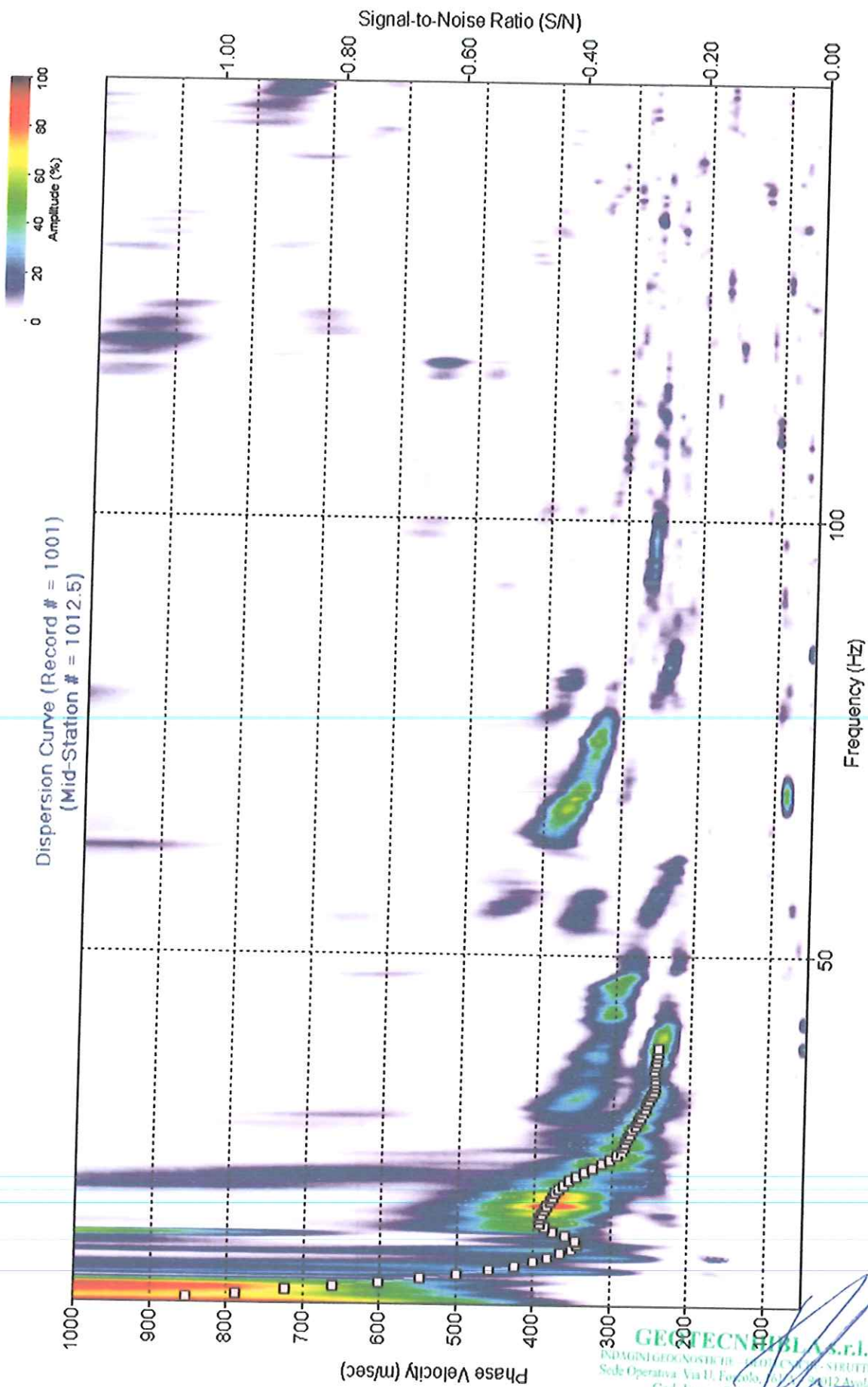


10-LAYER VELOCITY MODEL(Record = 1001)  
(Mid-Station = 1012.5)



C:\Documents and Settings\Server\Desktop\FILE MASW1\Geofisica 2014\FRANCOFONTE\Delta Faustina Costruzioni srl(FieldSetup)(1001).DC

**GEOTECNIBLAST s.r.l.**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICHE - STRUTTURE  
Sede Operativa: Via IV Novembre, 16/A - 96012 Avola (SR)  
Cod. Fiscale: 01351290893  
Tel/Fax: 0931/833124  
E-mail: geotecniblast@libero.it



□ Process No. 1

**GEOTECNIBLAS S.r.l.**  
 INDAGINIGEDONVITIC - GEOTECNIBLAS S.r.l. - STRUTTURALI  
 Sede Operativa: Via U. Fogliolo, 61 - 20122 Avola (SR)  
 Cod. Fisc. e P. IVA: 0131290893  
 Tel/Fax: 0978 833124  
 E-mail: geotecniblasr@libero.it